
УДК 621.88

М. Л. Калиниченко, В. М. Александров

КЛАССИФИКАЦИЯ КЛЕЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ВЫБОР ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

UDC 621.88

M. L. Kalinichenko, V. M. Aleksandrov

CLASSIFICATION OF ADHESIVES AND THEIR SELECTION FOR INDUSTRIAL USE

Аннотация

Работа посвящена анализу мировых типов классификаций клеевых составов. Рассмотрены аспекты склейки и их технологические особенности при использовании различных типов клеевых составов. Проведен сравнительный анализ технологических особенностей сварки и склейки.

Ключевые слова:

клеевые составы, технология машиностроения, прочность, адгезия.

Abstract

The paper analyzes world classifications of adhesives. Aspects of adhesion and the technological peculiarities of using various types of adhesive compounds have been studied. The comparative analysis of the technological features of welding and adhesion has been performed.

Key words:

adhesives, technology of mechanical engineering, durability, adhesion.

Клеевой (клеящий) материал (или *клей*) – это вещество, используемое для крепления двух подложек (склеиваемых поверхностей) между собой [1].

Выявлено, что в настоящее время нет единой классификации клеевых составов, и ее разработка очень важна для предприятий, специализирующихся на сборочном производстве как в машиностроении, так и в других областях промышленности. Применение клеевых соединений на 80 % снижает себестоимость готового продукта по сравнению со стандартными технологиями (сварка, клепка, пайка и др.), не требует подготовленных специалистов высокого разряда и весьма мобильно для производства технологических операций и (или) ремонта деталей и узлов. К тому же, как

показывает мировой опыт, данная технология является универсальной, позволяющей как производить изделия или заготовки, так и осуществлять ремонтно-монтажные работы в машиностроении.

Базовые классификации основаны на типологии химического состава клеев, областей применения, природы склеиваемых материалов, свойств, состояния на момент нанесения на поверхность (раствор, «термоплавкое» твердое тело, реактивная система и пр.). Фирмы-производители клеевых составов не могут прийти к определенному стандарту. Как результат, почти в каждой стране существует своя классификация. Например, во Франции используется стандарт NF T 76-011, в Германии – DIN 16920, в России –

ГОСТ 30535-97 *Клеевые материалы. Номенклатура показателей*, некоторые компании-производители имеют внутренние нормативы, например, компания 3М (США).

На основании анализа европейской статистики по клеящим материалам FEICA Европейская ассоциация производителей клеев разработала и опубликовала в 1996 г. Классификацию клеящих материалов, типы продуктов и их применение [2]. В соответствии с классификатором FEICA все клеевые материалы подразделяют на следующие группы: клеи на основе природных полимеров; полимерные дисперсии и дисперсионные клеи; плавкие клеящие вещества (в эту группу включены клеящие вещества, отверждаемые влагой); клеящие вещества, содержащие растворитель; реактивные клеевые системы; клеящие вещества на основе водорастворимых полимеров; особые клеящие материалы.

В России в соответствии с ГОСТ 30535-97 *Клеевые материалы. Номенклатура показателей* принята классификация, согласно которой все клеящие и герметизируемые материалы подразделяют на 14 групп: растворные; дисперсионные; эмульсионные; порошкообразные; пленочные; капсулированные; расплавы; активируемые теплом; активируемые растворителем; анаэробные; контактные; чувствительные к давлению; липкие; герметики. Внутри этой классификации клеящие материалы объединяют по подгруппам в зависимости от физического состояния (группы 1–5) [2]. В первом приближении клеи можно подразделить на две большие группы: конструкционные и неконструкционные [3].

К *конструкционным*, или *силовым*, относятся клеи, которые можно применять в случаях, где требуются прочные соединения, например, для приклейки фрикционных облицовок тормозных колодок, в авиационных конструкциях с легким наполнителем и т. п. Клей в по-

добных соединениях должен обладать способностью выдерживать большие напряжения, стремящиеся разъединить скрепленные элементы [3].

Неконструкционные, или *несиловые*, клеи дают соединения, которые не в состоянии выдержать значительных усилий и предназначены лишь для удержания на месте каких-либо ненагруженных деталей в изделии, например, металлических табличек, резиновых подкладок на металлических подставках и пр. Неконструкционные клеи часто применяются там, где желательно только временное соединение. Герметики и клеевые покрытия могут относиться к любой из двух групп [3].

Такая классификация помогает установить, какие клеи будут удовлетворять данному назначению. Однако она не учитывает условий, требующихся для отверждения клея (температура, давление, время, физические и химические свойства, например, прочность соединений, ползучесть, теплостойкость) [3].

Для понимания особенностей процесса производства и применения клеев, их поведения в соединениях при эксплуатации изделий необходимо хорошо знать физико-химические свойства материалов, используемых в рецептуре клея, т. к. многие клеи для металлов включают в себя два или больше основных связующих материалов. В некоторых случаях, например, в поливинилацетатных или в полиуретановых клеях, используется только один тип основного клеевого материала. В клеевых композициях, пригодных для конструкционных применений, важную роль играют многокомпонентные смеси основных материалов: один тип основного связующего материала придает клею в клеевом соединении прочность и жесткость, другой снижает хрупкость и т. п. Рациональная классификация клеев не может игнорировать упомянутые признаки [3].

Чаще всего клеевые материалы

классифицируют по следующим признакам: по областям применения (клеи для склеивания металлов, резин, теплозащитных покрытий и т. д.); по физическому состоянию (жидкие, пастообразные, твердые, пленочные); по температуре отверждения (клеи холодного и горячего отверждения); по химической природе основного компонента – связующего (эпоксидные, фенолоформальдегидные, силоксановые, акрилатные и т. д.); по допустимым температурам эксплуатации клеевых соединений (криогенностойкие, термостойкие, применяемые при умеренных температурах и т. д.); по количеству компонентов (однокомпонентные, двухкомпонентные и т. д.); по механизму отверждения (клеи и герметики анаэробного отверждения, влажностного отверждения, клеи, отверждаемые активацией, клеи термического отверждения) [2].

Известна классификация клеящих материалов по следующим признакам:

применение, отверждение, химический состав, стоимость и соответствие материала склеиваемому элементу. Согласно этой классификации, механизм отверждения, т. е. переход адгезива из жидкого состояния в твердое, осуществляется охлаждением расплава, улетучиванием растворителя, полимеризацией (поликонденсацией) [2].

По химическому составу клеящие материалы подразделяют по группам: натуральные; полусинтетические; синтетические. В соответствии с состоянием адгезива все материалы подразделяются на растворные (включая термопластичные) и термоотверждаемые (нерастворимые и неплавкие). Д. А. Кардашов предложил классификацию клеевых материалов по таким группам, как термопластичные, термореактивные, эластомерные. Классификацию клеев для целей практического применения разработали Г. Фаунер и В. Эндлих (табл. 1) [2].

Табл. 1. Классификация основы адгезивных материалов [2]

Происхождение и тип основы	Основа адгезивного материала
<i>Природная</i>	
Животная	Белковые, животные (включая рыбные), казеиновые, желатиновые, пчелиный воск
Растительная	Природные смолы (арабийская камедь, трагакант, канифоль, канадский бальзам и т. д.); белки (протеин соевых бобов); углеводы (крахмал, декстрины)
Минеральная	Неорганические материалы (силикаты, окись магния, фосфаты, свинцовый глет, сера и т. д.); минеральные воски (парафины); минеральные смолы (копал, янтарь); битумы (включая асфальты)
Эластомерная	Натуральный каучук (хлорвиниловый, циклизированный, гидрохлорированный и производные)
<i>Синтетическая</i>	
Термопластичная	Производные целлюлозы: ацетаты, ацетобутираты, эфиры капроновой кислоты, нитраты, оксиэтилцеллюлоза, этилцеллюлоза, карбоксиметилцеллюлоза; винильные полимеры и сополимеры: поливинилацетат, поливиниловый спирт, поливинилацеталь, поливинилхлорид, поливинилалкиловые эфиры; полистирол, полиамиды; полиакрилаты: полимеры на основе метакриловой и акриловой кислот, цианакрилаты, акриламид; простые полиэфиры: полигидроксиэфир, полисульфоны
Термореактивная	Аминопласты: мочевино- и меламиноформальдегиды и их модификации; эпоксины и их модификации: эпоксидно-полиамидные, эпоксидно-битумные, эпоксидно-полисульфидные, эпоксидно-нейлоновые; фенольные смолы и их модификации: феноло- и резолциноформальдегидные, фенолонитрильные, фенолонеопреновые, фенолоэпоксидные

В процессе склеивания клеевой материал является *партнером поверхности*, с которой он создает физические, физико-химические и химические связи. Свойства получаемого клеевого соединения зависят от двух факторов: наличия в молекулах клея функциональных групп, способных взаимодействовать с активными участками склеиваемых поверхностей, и оптимальных значений подвижности, которая требуется для вступления в близкий контакт с этими участками. Текучесть клеевого материала (т. е. его способность к смачиванию и растеканию) не является критическим параметром при условии, что растекание клея по поверхности подложки происходит не самопроизвольно, а принудительно (например, непосредственно сразу же после нанесения клея совмещают склеиваемые поверхности и прикладывают давление), поэтому совершенно необязательно, чтобы клеевой материал был в жидком состоянии, могут использоваться и клеи в твердом, а также в каучуковом или пластическом состоянии. Для обеспечения высоких значений когезионной прочности требуется, чтобы клеевой материал в отвержденном состоянии представлял собой твердое тело. Клеевой шов должен быть полимером, а клеевой материал – олигомером (или мономером) [1].

Компания 3М классифицирует клеи по двум направлениям, считая, что склеивание входит в число старых методов скрепления материалов между собой и использовалось еще до изобретения сварки, заклепывания, паяния, применения зажимов и болтов. В современный период клей контактный используется очень широко [4].

В нормативных документах компании 3М указывается, что клеи с добавками являются композициями и делятся на следующие виды: клей на водной основе; расплав; на растворителе; компаунд. Если их рассмотреть подробнее, то можно отметить их свойства по

типам [4].

Клеящие композиции на водной основе – это материалы на водной основе, которые представляют собой водную суспензию или водный раствор, являются наиболее чистыми в экологическом отношении. Такой клей для дерева и других материалов схватывается лишь после полного испарения воды. В качестве основы используется костный клей, целлюлоза, фенольные, меламиновые смолы, поливиниловый спирт. Водную суспензию представляет дисперсия поливинилацетата (ПВА), некоторые резиновые клеи; водный раствор – силикатный клей. Благодаря хорошей смачиваемости поверхностей клей подходит для пористых материалов древесины, гипсокартона. Недостатки таких товаров – невысокая адгезия, риск размножения микроорганизмов во влажной среде [4].

Клеи на растворителе – это клеи, по химической формуле представляющие собой полимер, который поддерживает в жидком состоянии вещество, испаряющееся быстрее воды (ацетон, алкалоид, спирт, толуол). К этому виду относится клей контактный, выпускаемый на основе раствора каучука в цианакрилате. Он эффективен, в том числе для соединения термопластов, довольно быстро схватывается. Минусом этого типа материалов является его токсичность в жидком виде [4].

Клеи-компаунд – это клеи, в которых отверждение компаундов происходит как следствие химической реакции в полимере под действием какого-либо фактора (тепло, прижатие, УФ-лучи, кислород воздуха и др.). Особенно распространены полиэфирные, эпоксидные смолы, метакрилат, полиакрилат, силикон, полиуретан. Клей для пластмасс этого типа может соединять пластики с другими материалами. Недостаток – малый срок пребывания в жидком состоянии, из-за которого проводить работы с таким клеем необходимо быстро [4].

Клеи-расплавы – это термостойкие клеи, которые представляют собой по-

лимеры без растворителя или воды, состав которых дополнен специальными добавками. При комнатной температуре термопластичные полимеры остаются в твердом виде до нескольких месяцев. Использовать этот состав необходимо лишь при высокой температуре, с помощью специального пистолета. Продукция данного типа растекается по скрепляемым поверхностям, переходя из твердого (палочки, порошок) в жидкое состояние [4].

Кроме вышеизложенного, из номенклатуры клеевых и фиксирующих составов, представленных компанией 3M на рынках Республики Беларусь, можно более подробно описать следующие. Цианакрилатные адгезивы Scotch-Weld™, представляющие собой однокомпонентные клеи, предназначены для универсального использования. Они чрезвычайно прочно скрепляют керамику, пластмассу, резину, стекло, дерево, бумагу и картон, кожу, ткани. Клеи пригодны для соединения силиконовых резин, полиолефина. Под действием содержащейся в воздухе влаги цианакрилатный адгезив застывает очень быстро: реакция полимеризации длится несколько десятков секунд. Для их затвердевания не нужен подогрев, использование растворителей. Лучше всего склеивание проходит при температуре 18...25 °С, относительной влажности около 60 %. Цианакрилатные клеи создают стойкое, долговечное, водонепроницаемое соединение [4].

Клеи цианакрилатные Scotch-Weld™ в лабораторных испытаниях проявили себя как ударопрочные, устойчивые к воздействию высоких и низких температур. Адгезивы обладают следующими преимуществами перед конкурирующими товарами: высокой эффективностью; возможностью применения для пористых поверхностей; отсутствием запаха и разводов, эффекта белесости на прозрачных пластмассах. В качестве добавок в цианакрилатных клеях используются бифункциональные соеди-

нения, которые повышают эксплуатационные качества. Например, добавление эфира абиетиновой кислоты, глицерина позволяет получить адгезив с повышенной водо- и вибростойкостью. Включение в состав клея диаллилфталата ведет к увеличению теплостойкости. Существует несколько разновидностей цианакрилатов, имеющих свою специфику применения [4].

Этиловые цианакрилатные адгезивы по составу являются универсальными, обладают низкой вязкостью. Они широко используются для ремонта, узловой сборки, технического обслуживания, склеивания самых разных видов каучуков, пластиков, пористых материалов. Цианакрилатные клеи, модифицированы каучуком. Добавление каучука значительно повышает прочность на сдвиг и отрыв, делает адгезив стойким к вибрации, колебаниям температуры, влажности. Время схватывания такого клея составляет 20...50 с (на стальных листах). Состав полностью отвердевает за 24 ч. Клеи выпускаются черного и белого цветов. Цианакрилатные адгезивы для металлов представляют собой новый спектр крепления металлических материалов. При помощи цианакрилатного клея возможно скрепить разнородные металлы, для которых недопустима сварка, соединить металлы и неметаллические поверхности, максимально равномерно распределить напряжение по всей скрепляемой площади, снизить вибрацию конструкции, обеспечить герметичное соединение при давлении, дополнительно упрочнить конструкцию, соединенную клепкой и сваркой, при необходимости – легко демонтировать клеевое соединение, нагрев его (металлические элементы при этом остаются неповрежденными) [4].

Анаэробные адгезивы Scotch-Weld™ рекомендованы для фиксации и герметизации резьбовых соединений, уплотнения муфт, соединения трубопроводов, стопорения деталей цилиндрической формы и уплотнения.

В номенклатуру входят продукты с различными значениями прочности и вязкости. Широкий диапазон значений прочности и вязкости в соответствии с требованиями технических условий: превосходная виброустойчивость; способность предотвращать утечки; антикоррозионные свойства; прекрасная влагостойкость; способность к работе в условиях высоких температур; возможность простого применения в ручных или автоматических дозаторах; выполнение работ на замасленных поверхностях.

Резьбовые фиксаторы низкой, средней и высокой прочности для всех отвинчиваемых креплений заполняют зазор между соединяемыми резьбовыми частями металлических деталей, предотвращая вибрационное ослабление соединения, обеспечивают уплотнение, препятствующее утечкам и коррозии, заменяют такие средства, традиционно используемые в механике, как стопорные шайбы, шплинты, снижают вес изделия [4].

Вал-втулочные фиксаторы 3M™ Scotch-Weld™ для монтажа подшипников, втулок, шестерен и других цилиндрических соединений повышают нагрузочные характеристики цилиндрических соединений, увеличивают прочность соединения с прессовой и скользящей посадкой, предотвращают коррозию сопряженных поверхностей, уменьшают сборочные напряжения, снижают затраты на механообработку, заменяют традиционные и более дорогостоящие способы защиты цилиндрических сборок [4].

Герметики 3M™ Scotch-Weld™ для трубопроводов, гидро- и пневмосистем высокого давления, фиттингов и водопроводов применяются для герметизации трубных резьбовых соединений, предотвращают вибрационное отвинчивание и протекание через резьбовое соединение, заменяют ленту ПТФЭ и другие уплотнители, устойчивы к воздействию топлива, масел и других технических жидкостей, создают низкоста-

тратные, неизнашивающиеся соединения, не засыхают, благодаря чему не наносят ущерба при проникновении внутрь устройства, не содержат растворителей, создают быстрое, низконапорное уплотнение, не затрудняют разборку, даже если она проводится по прошествии длительного времени [4].

Особое внимание для крепления металлов и неметаллов следует уделить УФ-клеям Scotch-Weld™. Высокопрочные УФ-клеи представляют собой разработку последних десятилетий. По составу они являются твердыми акриловыми клеями, укрепленными путем ультрафиолетового облучения. Подобно клею горячего расплава УФ-клей плавится и выкачивается на устройства нанесения (коатеры) в расплавленном, жидком состоянии. После нанесения на обрабатываемые поверхности он подвергается облучению. Укрепляясь в результате воздействия УФ, клей становится устойчивым к химическому и температурному воздействию, приобретает лучшую когезию. Этот прозрачный клей соединяет в себе плюсы клеевых составов на акриловой основе с преимуществами клеев на каучуковой основе. Он устойчив к воздействию воды, химически активных веществ, низкой и высокой температуры [4]. УФ-клеи Scotch-Weld™ незаметны после высыхания, быстро отверждаются, отличаются высокой прочностью. Процесс отверждения при их использовании контролируем. Клей может быть использован для соединения стекла, различных видов пластмасс, металла. Необходимое условие – пропуск УФ-лучей хотя бы одной из скрепляемых поверхностей [4].

В целом, преимуществами клеев Scotch-Weld™ являются быстрое, легко контролируемое отверждение без нагрева, хорошая адгезия ко многим видам поверхностей, большая прочность, прозрачный, незаметный клеевой шов, удобство использования на автоматизированном производстве (с помощью автоматического дозатора) [4].

Для улучшения клеевого соединения компания 3М предлагает широкий спектр праймеров и активаторов типа Scotch-Weld™. Активаторы и праймеры марки Scotch-Weld™ применяются вместе с цианакрилатными адгезивами. Эти составы повышают скорость отверждения цианакрилатного клея на пористых материалах, улучшают скрепление полиэтилена, полипропилена, политетрафторэтилена, силиконовой резины. Для лучшего скрепления винтового соединения используются фиксаторы резьбы. С помощью праймера осуществляется предварительная подготовка (пропитка) поверхностей перед нанесением клея. Праймеры играют важную роль в строительной, электронной, автомобильной промышленности [4].

Согласно результатам испытаний, при завершении сборочных операций рекомендуется использование активаторов Scotch-Weld™, благодаря которым цианакрилатный адгезив отверждается по краям на большую глубину. Активатор (акселератор) ускоряет процесс отверждения клея, улучшает его заполняющую способность. Использование конструкционного активатора оправдывает себя при склеивании поверхностей из анодированного металла, нержавеющей стали, кадмия, цинка, контрольных материалов, деталей, имеющих электролитическое покрытие. Клей необходимо нанести на одну из скрепляемых поверхностей, активатор – на другую. Сразу после прижатия деталей одна к другой произойдет реакция клея с активатором и начнется процесс отверждения. Активаторы огнеопасны, поэтому работать с ними нужно вне источников высокой температуры в проветриваемом помещении [4].

Для фиксации винтового или гаечного соединения небольшое количество жидкого состава необходимо нанести на резьбу винта, гайки. При затягивании гайки или винта жидкие фиксаторы резьбы заполнят в резьбовом соединении полости, превратившись после отвер-

ждения в жесткую пластмассу. В результате движение между резьбой становится невозможно, образуется высокопрочное соединение. Оно отличается виброустойчивостью, коррозионной устойчивостью, хорошей герметичностью. Химостойкие виды фиксаторов резьбы можно использовать в агрессивных средах. Наносить резьбовой фиксатор необходимо на обезжиренную чистую поверхность. Для использования на стали, алюминии, других неактивных металлах требуется обработка активатором [4].

Аэрозольные клеи. Клеи-спреи 3М™ Scotch-Weld™ удобно применять благодаря аэрозольной упаковке: они всегда готовы к использованию и идеальны для нанесения клея на большие площади. Клеи-спреи можно использовать для склейки самых разнообразных материалов: металлов, дерева, пластиков, бумаги и др. [4].

Термоплавкие клеи Scotch-Weld™ – это физически отверждаемые клеи Hot Melt & Low Melt. Благодаря высокой скорости отверждения термоплавкие клеи Scotch-Weld™ широко применяются для временного и постоянного приклеивания различных элементов. Стандартные термоплавкие клеи наносятся при температуре около 200 °С. Для повышения уровня безопасности специалистами 3М была разработана серия низкотемпературных клеев Scotch-Weld™ (обозначение LM), наносимых при 130 °С. Термоплавкие клеи 3М™ Scotch-Weld™ Reactive PUR позволяют быстро и надежно осуществить сборку различных частей мебели из дерева, металла, стекла, а также приклеить декоративные элементы. После нанесения в горячем виде клей охлаждается, формируя прочное и долговечное соединение [4].

Как результат, многообразие областей, где используются клеящие материалы, приводит к созданию широкой гаммы продуктов. В настоящее время на рынке представлены несколько десятков тысяч *составов* клеев, в

которых трудно разобраться и которые сложно отличить один от другого. Производители предлагают клеевые материалы, предназначенные для самых различных целей, и готовы специально создать по требованию заказчика любой клей. Потребитель ищет идеальный клеевой материал на все случаи жизни или же специальный, предназначенный для решения только его задач. Один из способов сблизить интересы разработчика и потребителя – создание простой классификации, целью которой является помощь потребителям в выборе клея не только с экономической, но и с технической точки зрения, в том числе и с учетом свойств склеиваемых материалов. Она позволит разделить клеи *по типам*, а в зависимости от состава – *по классам*. Обоснованная классификация и правила определения составов клеев явля-

ются элементами общего представления о клеях [1].

Выводы

В отличие от сварки и клепки клеевое крепление распределяет статическое напряжение, динамическое воздействие равномерно. Благодаря этому создается защита от вибрации и дополнительная защита соединяемого узла.

Клеевое соединение не требует создания отверстий в материале в отличие от клепки, болтовых соединений. После отверждения клеи для металла демонстрируют эластичность, высокую сопротивляемость механическому воздействию. Их можно применять в легких конструкциях, состоящих из компонентов толщиной 0,5 и менее миллиметра, для которых сварка затруднена. Клеевой слой предохраняет от коррозии соединений из разнородных металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вильнав, Ж.-Ж.** Клеевые соединения : пер. с фр. / Ж.-Ж. Вильнав. – М. : Техносфера, 2007. – 385 с.
2. **Склеивание в машиностроении** : справочник в 2 т. / Д. А. Аронович [и др.] ; под общ. ред. Г. В. Малышевой. – М. : Наука и технологии, 2005. – Т. 1. – 544 с.
3. **Склеивание металлов** / Г. Эпштейн [и др.] ; под общ. ред. А. Т. Туманова. – М. : Гос. изд-во оборонной промышленности, 1956. – 212 с.
4. **Клеи и клеящие элементы** // Сайт представительства компании 3М [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http : www.almitech.deal.by](http://www.almitech.deal.by). – Дата доступа : 27.02.16.

Статья сдана в редакцию 29 марта 2016 года

Мария Львовна Калиниченко, аспирант, Белорусский национальный технический университет.
E-mail: M.Kalinichenko@mail.ru.

Валерий Михайлович Александров, канд. техн. наук, зав. отделом, Институт порошковой металлургии. E-mail: alex.tehno@tut.by.

Mariya Lvovna Kalinichenko, PhD student, Belarusian National Technical University.
E-mail: M.Kalinichenko@mail.ru.

Valery Mikhailovich Aleksandrov, PhD (Engineering), Department Head, Powder Metallurgy Institute.
E-mail: alex.tehno@tut.by.